

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-051150

(43)Date of publication of application : 23.02.2001

(51)Int.Cl.

G02B 6/287

G02B 6/17

(21)Application number : 2000-089814

(71)Applicant : FUJIKURA LTD

(22)Date of filing : 28.03.2000

(72)Inventor : SASAKI HIDEKI  
YAMAUCHI RYOZO  
HIDAKA HIROMI  
NISHIDE KENJI  
YAMAZAKI SHIGEFUMI  
MATSUMOTO RYOKICHI  
SUZUKI YOJI

(30)Priority

Priority number : 11153080

Priority date : 31.05.1999

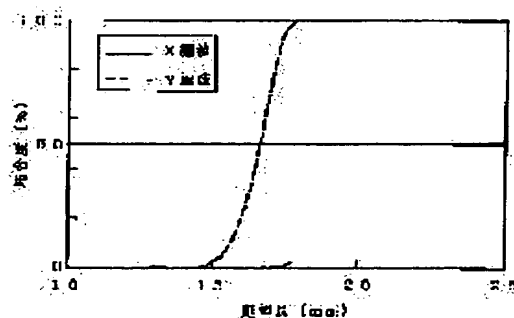
Priority country : JP

## (54) MANUFACTURE OF POLARIZATION RETAINING OPTICAL FIBER COUPLER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a polarization retaining optical fiber coupler having a drawing length shorter than the conventional ones and high polarization dependency of coupling degree.

SOLUTION: This manufacturing method comprises juxtaposing two polarization retaining optical fibers, heating a longitudinal part thereof, and drawing them in this longitudinal direction to form a fused drawn part. At this time, the drawing is ended at the time when the periods of coupling degree change of two polarizations accompanied by the drawing are both within two periods to manufacture a polarization retaining optical fiber coupler with the coupling degree of one polarization  $\leq 10\%$ , and the coupling degree of the other polarization  $\geq 90\%$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 27.09.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 07.03.2006

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-51150  
(P2001-51150A)

(43) 公開日 平成13年2月23日 (2001.2.23)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード\* (参考)

G 0 2 B 6/287  
6/17

G 0 2 B 6/28  
6/16

A 2 H 0 5 0  
3 1 1

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2000-89814(P2000-89814)

(22) 出願日 平成12年3月28日 (2000.3.28)

(31) 優先権主張番号 特願平11-153080

(32) 優先日 平成11年5月31日 (1999.5.31)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005186

株式会社フジクラ

東京都江東区木場1丁目5番1号

(72) 発明者 佐々木 秀樹

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

(72) 発明者 山内 良三

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外3名)

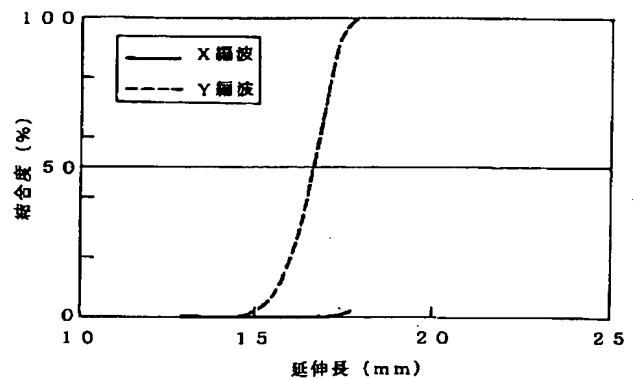
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏波保持光ファイバカブラの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 従来よりも延伸長が短く、結合度の偏波依存性が高い偏波保持光ファイバカブラを得る。

【解決手段】 2本の偏波保持光ファイバを並列させ、その長さ方向の一部を加熱し、この長さ方向に延伸して融着延伸部を形成する偏波保持光ファイバカブラの製造方法において、使用波長において、延伸長に伴う2つの偏波の結合度の変化の周期が、いずれも2周期以内の時点で延伸を終了し、一方の偏波の結合度が10%以下で、他方の偏波の結合度が90%以上の偏波保持光ファイバカブラを製造することを特徴とする偏波保持光ファイバカブラを製造する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 2本の偏波保持光ファイバを並列させ、その長さ方向の一部を加熱し、この長さ方向に延伸して融着延伸部を形成する偏波保持光ファイバカブラの製造方法において、

使用波長において、延伸長に伴う2つの偏波の結合度の変化の周期が、いずれも2周期以内の時点で延伸を終了し、一方の偏波の結合度が10%以下で、他方の偏波の結合度が90%以上の偏波保持光ファイバカブラを製造することを特徴とする偏波保持光ファイバカブラの製造方法。

【請求項2】 請求項1に記載の偏波保持光ファイバカブラの製造方法において、2本の偏波保持光ファイバのコアをできるだけ近づけないようにして融着延伸部を形成することにより、光の結合が生じる時点から2つの偏波の結合度の差を大きくすることを特徴とする偏波保持光ファイバカブラの製造方法。

【請求項3】 請求項1または2に記載の偏波保持光ファイバカブラの製造方法において、一方の偏波の結合度が10%以下で、他方の偏波の結合度が90%以上の範囲が維持される波長帯域が30nm以上の偏波保持光ファイバカブラを製造することを特徴とする偏波保持光ファイバカブラの製造方法。

【請求項4】 請求項1～3のいずれか一項に記載の偏波保持光ファイバカブラの製造方法において、偏波保持光ファイバが、コアを囲むクラッド内にコアに対して対称的に配された応力付与部を有し、コアの同心円であって、応力付与部にかかわらず、かつその内部に応力付与部を含まない円のうち、最大の円の直径が20μm以上であることを特徴とする偏波保持光ファイバカブラの製造方法。

【請求項5】 前記直径が25～30μmであることを特徴とする請求項4に記載の偏波保持光ファイバカブラの製造方法。

【請求項6】 請求項4または5に記載の偏波保持光ファイバカブラの製造方法において、偏波保持光ファイバの複屈折率が $5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-4}$ であることを特徴とする偏波保持光ファイバカブラの製造方法。

【請求項7】 請求項4～6のいずれか一項に記載の偏波保持光ファイバカブラの製造方法において、偏波保持光ファイバのクロストークが $-20 \text{ dB/km}$ 以上であることを特徴とする偏波保持光ファイバカブラの製造方法。

【請求項8】 請求項4～7のいずれか一項に記載の偏波保持光ファイバカブラの製造方法において、偏波保持光ファイバの損失が $1 \text{ dB/km}$ 以上であることを特徴とする偏波保持光ファイバカブラの製造方法。

【請求項9】 請求項4～8のいずれか一項に記載の偏波保持光ファイバカブラの製造方法において、偏波保持光ファイバカブラのリードファイバの長さが10m以下

であることを特徴とする偏波保持光ファイバカブラの製造方法。

【請求項10】 請求項1～9のいずれか一項に記載の偏波保持光ファイバカブラの製造方法において、偏波保持光ファイバがPANDA型偏波保持光ファイバであることを特徴とする偏波保持光ファイバカブラの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光ファイバ通信分野、光ファイバを利用したセンサ分野などにおいて有用な、光ファイバ中の光の偏波状態を保持したままで光の合流、分岐を行う新規な偏波保持光ファイバカブラを提供するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 光のモードは電界の向きが直交するX偏波とY偏波とから構成されている。これらの偏波を合流、分岐させることができるデバイスを偏波ビームスプリッタ（以下、PBSと略記する）という。PBSは、例えば光の干渉を利用して角加速度を測定する光ファイバジャイロや、直線偏波を持つ光源からの光を合流、分岐したりするのに有用である。PBSとしての特性を実現するためには、X偏波-Y偏波間で異なる結合特性を有する必要がある。

【0003】 このような光デバイスとして、偏波保持光ファイバを用いた偏波保持光ファイバカブラが提案されている。偏波保持光ファイバは、種々のものが提案されているが、代表的なものとしてPANDA型光ファイバ（Polarization maintaining AND Absorption reduced fiber）が知られている。

【0004】 図12はPANDA型光ファイバの一例を示したもので、このPANDA型光ファイバ10は、中心に設けられたコア11と、このコア11の周囲に、このコア11と同心円状に設けられ、かつこのコア11よりも低屈折率のクラッド12と、このクラッド12内に、前記コア11を中心に対称配置され、かつこのクラッド12よりも低屈折率の断面円形のふたつの応力付与部13、13とから構成されている。この例において、コア11はゲルマニウム添加石英ガラス、クラッド12は純石英ガラス、応力付与部13はホウ素が比較的大量に添加された石英ガラスからそれぞれ構成されている。コア11の外径、応力付与部13の外径、コア11とクラッド12の比屈折率差、クラッド12と応力付与部13の比屈折率差は所望の特性などによって適宜設定される。クラッド12の外径は通常約 $125 \mu\text{m}$ とされる。

【0005】 前記応力付与部13は、クラッド12よりも大きな熱膨張係数を有している。そのため、光ファイバの製造時に線引きした光ファイバが冷却される過程で、ファイバ断面において、応力付与部13に起因する歪みを生じる。そして、この歪みはコア11に対して異

方性歪みを発生させ、その結果、偏波の縮退が解け、X偏波の伝搬定数とY偏波の伝搬定数が異なる値となり、当然、これらの偏波の電磁界の分布も異なるものとなる。その結果、X偏波とY偏波が保存された状態で伝搬する特性が得られる。

【0006】図13は偏波保持光ファイバカプラの一例を示したもので、この偏波保持光ファイバカプラ14は、2本のPANDA型光ファイバ10、10を、各々の偏波軸が平行になるように並列させ、これらPANDA型光ファイバ10、10の途中のクラッド12、12を接触させ、加熱、熔融するとともに、その長さ方向に延伸することによって融着延伸部（光結合部）3を形成したものである。なお、偏波軸とは、各々のPANDA型光ファイバ10において、応力付与部13、13の中心を通る線をいう。この偏波保持光ファイバカプラにおいては、X偏波はPANDA型光ファイバ10、10の偏波軸方向に電界ベクトルを保持して伝搬し、Y偏波はこれと直行する電界ベクトルを保持してPANDA型光ファイバ10、10内を伝搬する。そして、途中の融着延伸部3において、X偏波とY偏波の合流、分岐が行われる。

【0007】従来の偏波保持光ファイバカプラにおいては、融着延伸部3を形成する際に光ファイバ（PANDA型光ファイバ10）を延伸する長さ、すなわち延伸長を長くすることによってX偏波の結合度とY偏波の結合度との差を実現し、PBSとしての特性を付与することができる。図14（a）は、延伸長と使用波長の光の結合度との関係を示したグラフである。破線はX偏波の結合特性、実線はY偏波の結合特性である。従来の偏波保持光ファイバカプラの融着延伸部の製造においては、X偏波とY偏波をともに一方の偏波保持光ファイバ（第1の光ファイバ）から他方の偏波保持光ファイバ（第2の光ファイバ）に結合させた後、さらに延伸を進めることによって、再びそれぞれの偏波を第1の光ファイバに移行（結合）させ、さらに第2の光ファイバに移行させる操作を繰り返す。通常の偏波保持光ファイバを用いて融着延伸部3を形成するにおいては、Y偏波の結合がX偏波の結合のよりもわずかに小さいため、Y偏波とX偏波の結合度の変化の周期（移行周期）にわずかな差が生じている。ここで、便宜上、はじめに結合度が0%から増加して100%に至り、さらに結合度が減少して0%に至る変化を1周期、再び結合度が増加して100%に至り、さら0%に至る変化を2周期と数える。そして、延伸長が長くなり、この周期が数周期から数十周期になると、X偏波とY偏波の結合度の差が大きくなる。そして、グラフ中矢印で示した結合度の差が大きくなる付近まで延伸して融着延伸部3を形成すると、図14（b）に示したように、出力側のポートAと同じファイバからなる入力側のポートから使用波長のX偏波とY偏波とを

し、ポートBからはY偏波が出力するPBSとしての特性が得られる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の偏波保持光ファイバカプラにおいて、X偏波とY偏波とを合流、分岐させるためには、素子長が長くなるという問題があった。例えば外径125 $\mu$ mの偏波保持光ファイバを用いた場合、延伸長が60mm以上、ときには100mm程度になることがあった。その結果、融着延伸部が非常に細くなり、機械的な強度が低下し、補強が必要となる。しかし、融着延伸部に補強材を接触させると光学特性が変化するため、補強は困難であった。また、X偏波とY偏波とを合流、分岐可能な波長帯域が極端に狭く、例えば10nm程度であるという問題があった。

【0009】本発明は前記事情に鑑みてなされたもので、従来よりも延伸長が短く、結合度の偏波依存性の大きい偏波保持光ファイバカプラを得ることを目的とする。そして、機械的な強度を向上させることができる偏波保持光ファイバカプラを提供することを目的とする。さらには、広い波長帯域で使用可能な偏波依存性を有する偏波保持光ファイバカプラを提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の偏波保持光ファイバカプラの製造方法は、2本の偏波保持光ファイバを並列させ、その長さ方向の一部を加熱し、この長さ方向に延伸して融着延伸部を形成する偏波保持光ファイバカプラの製造方法において、使用波長において、延伸長に伴う2つの偏波の結合度の変化の周期が、いずれも2周期以内の時点で延伸を終了し、一方の偏波の結合度が10%以下で、他方の偏波の結合度が90%以上の偏波保持光ファイバカプラを製造することを特徴とする。この製造方法においては、2本の偏波保持光ファイバのコアをできるだけ近づけないようにして融着延伸部を形成することにより、光の結合が生じる時点から前記偏波保持光ファイバ中の2つの偏波の結合度の差を大きくすると好ましい。また、一方の偏波の結合度が10%以下で、他方の偏波の結合度が90%以上の範囲が維持される波長帯域が30nm以上の偏波保持光ファイバカプラを製造すると好ましい。さらに、コアを囲むクラッド内にコアに対して対称的に配された応力付与部を有し、コアの同心円であって、応力付与部にかからず、かつその内部に応力付与部を含まない円のうち、最大の円の直径が20 $\mu$ m以上である偏波保持光ファイバを用いて偏波保持光ファイバカプラを製造すると好ましい。また、前記直径は、さらに好ましくは25～30 $\mu$ mとされる。また、この前記直径が20 $\mu$ m以上の偏波保持光ファイバの複屈折率は、好ましくは $5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-4}$ である。また、この偏波保持光ファイバの偏波クロストークは、好ましくは-20dB

／km以上である。また、この偏波保持光ファイバの損失は、好ましくは1dB／km以上である。また、この偏波保持光ファイバを用いて偏波保持光ファイバカブラを製造するにおいては、リードファイバの長さを10m以下とすると好ましい。また、本発明においては、偏波保持光ファイバとして、PANDA型偏波保持光ファイバを用いると好ましい。

(PANDA型光ファイバの特性)

コア径(コア半径)  
クラッド径  
コアクラッド間の比屈折率差  
応力付与部の外径  
応力付与部の中心間の距離  
直径A  
使用波長  
使用波長におけるモード複屈折率

6.5μm(3.25μm)  
125μm  
0.35%  
35μm  
55μm  
20μm  
1550nm  
 $4 \times 10^{-4}$

【0014】得られた偏波保持光ファイバカブラの融着延伸部の最小径は61μm、同形状(アスペクト比)は1.89、延伸長は17.8mmである。なお、前記同形状(アスペクト比)とは融着延伸部の中央部の最大外

【0011】

【発明の実施の形態】図1は第1の実施例における、融着延伸部形成時の延伸長と、波長1550nm(使用波長)の光の結合度の関係を示したグラフである。

【0012】この実施例において用いた偏波保持光ファイバは、以下のようなPANDA型光ファイバである。

【0013】

径と最小外径の比である(最大外径/最小外径)。この偏波保持光ファイバカブラの特性を表1に示す。

【0015】

【表1】

過剰損失 (1550nm)	X偏波	0.12dB
	Y偏波	0.33dB
結合度 (1550nm)	X偏波	0.9%
	Y偏波	99.2%
Y偏波90%帯域	58nm	
X偏波15%帯域	1600nm以下	

【0016】上述のように、融着延伸部を形成するにおいては、延伸長が長くなるにしたがって、X偏波とY偏波のそれぞれにおいて、結合度が0%から100%に至り、再び0%に至るといった変化が繰り返される。本発明においては、できるだけ2本の偏波保持光ファイバのコアが近づかないように(コアの中心間の距離が小さくなりすぎないように)、加熱、溶融させて融着延伸部を形成することにより、結合度が増加し始める時点からX偏波-Y偏波間に大きな結合度の差を生じさせることができる。その結果、図1に示したように、Y偏波に対しては、結合度が増加してはじめて100%に達した時点

(1/2周期)で延伸を終了し、X偏波に対しては、ほとんど結合度が増加しない時点で延伸を終了することにより、例えば1本の偏波保持光ファイバから他方の偏波保持光ファイバに対して、主にY偏波のみが結合し、X偏波がほとんど結合しないような状態で融着延伸部を形成することができる。

【0017】そして、このように融着延伸部における2つのコアの近接度を調整することにより、図2に示したように、広い波長域でX偏波とY偏波の十分な結合度の差を実現することができる。この例において、Y偏波の結合度が90%以上で、かつX偏波の結合度が10%以

下の範囲は58nmであり、非常に広がっている。また、長波長側においてX偏波の結合度がやや上昇するため、X偏波の波長依存性は短波長側の方が小さい。

【0018】具体的な融着延伸部の製造操作においては、2本の偏波保持光ファイバのコアの中心間の距離が近づきすぎないように、光ファイバの外形が保たれ易い加熱条件を設定すると好ましい。例えばバーナーなどの加熱源の温度を従来より低く設定したり、加熱源からの距離を大きくする方法が例示できる。また、延伸を高速に行い、単位時間あたりの熱量を少なくする方法などが例示できる。実際は入力側のポートから使用波長の光を入力し、出力側のふたつのポートから出力する光をモニターしながら加熱、延伸を行い、所望の結合度が得られた時点で作業を終了する。

【0019】図3は第2の実施例における、融着延伸部形成時の延伸長と、波長1550nm(使用波長)の光の結合度の関係を示したグラフである。第2の実施例においても、上述の第1の実施例と同様に、できるだけ2本の偏波保持光ファイバのコアが近づきすぎないように、加熱、溶融させて融着延伸部を形成することにより、融着延伸部において、ふたつのコアの中心間の距離を維持し、結合度が増加し始める時点からX偏波-Y偏

波間に大きな結合度の差を生じさせている。この第2の実施例においては、図3に示したように、Y偏波に対しては、その結合度が増加して一度100%に至り、ついで減少して0%に至った時点（1周期）で延伸を終了している。一方、X偏波に対しては、その結合度がはじめに100%に至った時点（1/2周期）で延伸を終了している。

【0020】その結果、この第2の実施例においても、

過剰損失 (1550nm)	X偏波	0.14dB
	Y偏波	0.45dB
結合度 (1550nm)	X偏波	99.1%
	Y偏波	1.1%
X偏波90%帯域	35nm	
Y偏波15%帯域	43nm	

【0022】この例において、X偏波の結合度が90%以上で、かつY偏波の結合度が10%以下である範囲は35nmであり、従来は10nm程度であったのに対して3倍以上広げることができる。

【0023】ついで、本発明に好適な偏波保持光ファイバについて説明する。図5は本発明に好適な偏波保持光ファイバの一例を示した断面図であって、この例の偏波保持光ファイバはPANDA型光ファイバである。このPANDA型光ファイバ10の特徴は応力付与部13、13の間の距離が大きい点である。この距離は、コア11またはクラッド12の同心円で、応力付与部13、13にかからず、かつその内部に応力付与部13、13を含まない最大の円15の直径Aを基準に定められている。直径Aは20 $\mu$ m以上、好ましくは、25~30 $\mu$ mとされる。このPANDA型光ファイバ10を用いて、図13に示したような偏波保持光ファイバカプラを構成した場合、融着延伸部3において、コア11から光が染み出しても、通常の使用波長での使用であれば、この光の多くは応力付与部13、13間に位置し、応力付与部13にかかることがない。そのため、光信号（コア10を伝搬するモード：伝搬光）が高次モードに結合しにくくなり、過剰損失の増加を抑制することができる。直径Aが20 $\mu$ m未満の場合は過剰損失が大きくなる傾向がある。30 $\mu$ mをこえるとX偏波の伝搬定数とY偏波の伝搬定数の差が小さくなり、X偏波-Y偏波間のクロストーク（偏波クロストーク）が劣化し、X偏波とY偏波の保存状態が低下する場合がある。

【0024】なお、通常の通信用などの偏波保持光ファイバの直径Aは12~17 $\mu$ m程度である。これに対して上述のように応力付与部13が離れていると、応力付与部13がコア11に与える応力が低下し、通常の偏波保持光ファイバと比較して複屈折率が低くなり、また、fast軸（Y偏波軸）とslow軸（X偏波軸）との間のクロストーク（X偏波-Y偏波間のクロストーク）

図4に示したように、広い波長域でX偏波とY偏波の結合度の差を実現することができる。この偏波保持光ファイバカプラの融着延伸部の最小径は41 $\mu$ m、同形状（アスペクト比）は1.98、延伸長は24.2mmである。この偏波保持光ファイバカプラの特性を表2に示す。

【0021】

【表2】

が劣化する傾向がある。さらに損失も若干大きくなる場合がある。しかし、偏波保持光ファイバカプラのファイバの使用長さは短いため、偏波保持光ファイバ自体の複屈折率、クロストークおよび損失の条件を通信用などの通常のものよりも緩和しても、使用上は特に問題はない。

【0025】具体的には、本発明に好適な偏波保持光ファイバの複屈折率は $5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-4}$ の範囲とされる。なお、通常の通信用などの偏波保持光ファイバの複屈折率は $5 \times 10^{-4}$ 程度である。また、単位長さ当たりのクロストークは-20dB/km以上、実質的には-20~-10dB/kmの範囲となる。なお、通常の偏波保持光ファイバのクロストークは-25dB/km程度である。また、単位長さ当たりの損失は1dB/km以上とされる。実質的には1~10dB/kmとされる。なお、通常の偏波保持光ファイバの損失は0.2~0.3dB/km程度である。

【0026】また、この偏波保持光ファイバを用いた偏波保持光ファイバカプラのリードファイバは10m以下とすると好ましい。実質的には0.5~10mとされる。なお、リードファイバとは、例えば図13に示したように、融着延伸部3の両端から2本ずつ伸び、入出力ポートを構成する偏波保持光ファイバ（PANDA型光ファイバ）10のことである。リードファイバが長すぎると偏波保持光ファイバカプラを透過するときに光信号のクロストークや損失が大きくなるためである。

【0027】なお、コア11、クラッド12、応力付与部13は、例えば従来と同様の材料から形成される。また、応力付与部13の外径、コア11とクラッド12との比屈折率差、クラッド12と応力付与部13の比屈折率差は、それぞれ所望の特性などによって適宜設定される。通常コア11のモードフィールド径は、コア11の直径、使用波長などによって異なるが、4~10 $\mu$ m程度とされる。また、クラッド12の外径は125 $\mu$ m程

度とされる。

【0028】図6は第3の実施例における、融着延伸部形成時の延伸長と、波長980nm（使用波長）の光の結合度の関係を示したグラフである。この実施例においては、Y偏波に対しては、結合度が増加してはじめに100%に達した時点（1/2周期）で延伸を終了し、X偏波に対しては、ほとんど結合度が増加しない時点で延伸を終了している。図7は延伸長の増加に伴うX偏波とY偏波の過剰損失の変化をそれぞれ示したもので、X偏波の過剰損失は殆ど変化せず、Y偏波の過剰損失は一度増加した後に減少し、ゼロに近くなっていることがわかる。そして、Y偏波の結合度が十分に増加した点と、Y

偏波の過剰損失がゼロ付近になった点とが一致しており、この時点で延伸を停止することにより、X偏波とY偏波の結合度の差が大きく、かつ過剰損失が小さいという特性を実現することができる。そして、この第3の実施例においても、図8に示したように、広い波長域でX偏波とY偏波の結合度の差を実現することができる。融着延伸部の最小径は58μm、同形状（アスペクト比）は1.92、延伸長は22mmである。この偏波保持光ファイバカプラの特性を表3に示す。

【0029】

【表3】

過剰損失 (980nm)	X偏波	0.10dB
	Y偏波	0.38dB
結合度 (980nm)	X偏波	0.1%
	Y偏波	99.6%
X偏波90%帯域	36nm	
Y偏波15%帯域	1200nm以下	

【0030】一方、図9は、以下のような直径Aが小さい通常のPANDA型光ファイバを用い、第3の実施例と同様にして偏波保持光ファイバカプラを製造したときの延伸長と波長980nm（使用波長）の結合度の関係（PANDA型光ファイバの特性）

コア径（コア半径）  
クラッド径  
コアクラッド間の屈折率差  
応力付与部の外径  
応力付与部の中心間の距離  
直径A  
使用波長  
使用波長におけるモード複屈折率

を示したグラフである。図10はこのときの延伸長とX偏波とY偏波の過剰損失との関係を示したグラフである。

【0031】

6.5μm（3.25μm）  
125μm  
0.35%  
35μm  
51μm  
16μm  
980nm  
 $5 \times 10^{-4}$

【0032】図6、図7と比較すると明らかなように、図10においては、延伸長が長くなると、X偏波の過剰損失は殆ど変化しないが、Y偏波の過剰損失は大きく増加し、ついで減少するが、ゼロ付近に至らないうちに再び増加する。そして、図9からわかるように、結合度はこの過剰損失の変動の影響により増加、減少を繰り返す。したがって、Y偏波の過剰損失をゼロ付近にすることができないため、どのような条件で延伸を中止しても第1～第3の実施例の偏波保持光ファイバカプラと比較すると特性が劣ることは否めない。また、Y偏波の結合度が大きく、かつ過剰損失が小さい時点で延伸を中止すれば、ある程度実用可能なものが得られるが、これらの

条件を満足する延伸長の範囲は狭く、製造性が低い場合が多い。なお、使用波長などの条件によってはこの例のように通常の偏波保持光ファイバを用いても、本発明の効果をある程度得ることができる。

【0033】このように、本発明においては、融着延伸部の形成において、結合度が増加し始める時点（光の結合が生じる時点）からX偏波-Y偏波間に大きな結合度の差が生じているため、それぞれの偏波の結合度の変化の周期が2周期以内の範囲で、以下に示す偏波保持光ファイバカプラにおける好ましい結合度の範囲を実現することができる。本発明の製造方法で製造する偏波保持光ファイバカプラにおいては、使用波長において、一方の



偏波に対する結合度が10%以下で、他方の偏波に対する結合度が少なくとも90%以上であり、かつ、これらの結合度が維持される波長帯域が少なくとも30nm以上であると好ましい。このような結合度の範囲を実現することにより、優れたPBSとしての特性が得られる。また、直径Aが20μm以上の偏波保持光ファイバを用いることにより、過剰損失が小さい偏波保持光ファイバカプラを提供することができる。

【0034】これらの結合度の範囲は、上述のように融着延伸部の作製時に使用波長の光を一方の偏波保持光ファイバに入射し、ふたつの偏波の結合度をモニターし、所望の特性が得られた時点で作業を終了することによって、設定可能である。図2、図4、図6、図9に示したグラフのように、本発明においては、結合度が増加し始める時点からX偏波-Y偏波間に大きな結合度の差が生じているため、ふたつの偏波の結合度の変化の周期が2周期以内の範囲でX偏波とY偏波の結合度の差を実現することにより、延伸長が長くならず、上述の結合度の範囲を維持できる波長帯域を30nm以上とすることができる。特にこのように広い波長帯域におけるPBSとしての特性の実現は、従来の技術ではなし得なかったものである。

【0035】ふたつの偏波の結合度が上述の範囲外であると、X偏波、Y偏波の合流、分岐を行うことが困難となる。また、前記波長帯域が30nmよりも狭いと、偏波の結合度の波長依存性が大きくなり、使用波長が限られる。また、使用波長は通常偏波保持光ファイバカプラを使用する波長帯である0.6~1.7μmの範囲内であると好ましい。また前記波長帯域もこの範囲内である

$$P_A(Z) = 1 - F \sin^2(qz)$$

$$P_B(Z) = F \sin^2(qz)$$

式(1)

$$F = \frac{1}{1 + (\delta/\kappa)^2}$$

$$q = \sqrt{\kappa^2 + \delta^2}$$

$\kappa$  = 結合係数

$$\delta = (\beta_2 - \beta_1)/2$$

$\beta_2$ 、 $\beta_1$  は2つの導波路が孤立して存在していると仮定した時の伝搬定数

【0040】ここで、2本の光ファイバが有するコア径、コアクラッド間の屈折率差が等しければ $\beta_1 = \beta_2$ となり、 $\delta = 0$ 、 $F = 1$ となるので、式(1)は、以下の式(2)のように簡略化される。

と好ましい。

【0036】上述の実施例はPANDA型光ファイバを用いたものであるが、これに限定するものではなく、ボータファイバ、楕円ジャケットファイバなどをの偏波保持光ファイバを用いることもできる。ただし、図13に示した断面図のように、コア11、11間に、できるだけ応力付与部13などのクラッド12以外の部分が位置しないようにすると、応力付与部13の吸収による損失が小さく好ましい。最も望ましくは、この断面図のように、2本の偏波軸が平行になるようにする。

【0037】上述のように、本発明においては、短い延伸長で結合度の偏波依存性の大きい偏波保持光ファイバカプラを得ることができる。そのため、PBSを作製すると有効である。また、延伸長が短いため、機械的強度を向上させることができる。また、X偏波あるいはY偏波が、一方の偏波保持光ファイバから他方の偏波保持光ファイバに結合する回数(移行回数)を少なくすることができるため、低損失である。さらに、広い波長帯域で結合度の偏波依存性の大きい偏波保持光ファイバカプラが得られる。このため、例えば多波長の光を入力し、同時に偏波分離、もしくは、偏波合成するような光回路の作製に有用なPBSを提供することができる。

【0038】ところで、光ファイバカプラにおける2本の光ファイバのそれぞれの長さ方向の位置Zにおける伝搬光のパワーPA(Z)、PB(Z)は、式(1)で示される。

【0039】

【数1】

【0041】

【数2】

$$\left. \begin{aligned} P_A(Z) &= 1 - \sin^2(\kappa z) \\ P_B(Z) &= \sin^2(\kappa z) \end{aligned} \right\} \quad \text{式 (2)}$$

【0042】偏波保持光ファイバにおいては、X偏波とY偏波のそれぞれに式(2)が成立する。このとき、偏波方向によって結合係数 $\kappa$ が偏波に依存しなければ、所定波長において、偏波に依存した結合特性は得られない。図11(a)は、 $\kappa$ が光ファイバの構造に依存することを示したグラフである(参考文献:コロナ社刊、フ

V: 正規化周波数

$$V = (2\pi/\lambda) a n_1 \sqrt{(2\Delta)} \quad \text{式 (3)}$$

コア半径  $a$   
 コアの屈折率  $n_1$   
 コアクラッド間の比屈折率差(相対屈折率差)  $\Delta$   
 光の波長  $\lambda$

【0044】式(3)中の $\Delta$ は以下の式(4)で示される。

【0045】

【数4】

$$\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / (2n_1) \quad \text{式 (4)}$$

クラッドの屈折率  $n_2$

【0046】このグラフは、簡単のため、2本の光ファイバの正規化周波数Vが等しい場合を示したものである。図11(a)より、正規化周波数Vによって、結合係数 $\kappa$ が大きく変動することがわかる。また、正規化周波数Vは、光ファイバカプラを構成する光ファイバにおいて、シングルモード伝搬を保証する値としなければならない。ステップ型の屈折率分布を有する光ファイバにおいては、 $V \leq 2.405$ を満足する場合にシングルモード条件が保証される。偏波保持光ファイバにおいては、シングルモード条件はそれぞれの偏波に対して考慮されている。

【0047】偏波保持光ファイバカプラにおいては、ふたつのコア間のX偏波どうしの結合と、Y偏波どうしの結合を考える。図13に示したように、2本の偏波保持光ファイバ(PANDA型光ファイバ)10、10の偏波軸が平行である場合は、理論的にはX偏波とY偏波との結合(偏波クロストーク)を考慮する必要はない。

【0048】図11(a)に示したグラフより、コアの中心間の距離がある程度大きい場合、各々のコアにおいて、X偏波の正規化周波数とY偏波の正規化周波数とが異なる値をとれば、X偏波-Y偏波間において、結合係数 $\kappa$ の差が大きくなることがわかる。通常の偏波保持光ファイバにおいては、X偏波とY偏波の光学特性は、両者を区別可能な程度にわずかに異なっている。

オプトニクスシリーズ「光導波路の基礎」岡本勝就著 p151)。横軸D/aのDは、図11(b)に示したように、融着延伸部におけるふたつのコアA、コアBの中心間の最小距離、aはコアA、コアBの共通の半径である。縦軸は正規化された光の結合係数である。グラフ中に示されたVは光ファイバのコアの正規化周波数であって、以下の式(3)で示される。

【0043】

【数3】

【0049】例えば、D/aが1.2で、X偏波の正規化周波数VXが1.6、Y偏波の正規化周波数VYが1.4のとき、X偏波の結合係数はY偏波の結合係数の1.0倍程度の値をとる。このとき、Y偏波に対して、式(2)中の $\kappa z$ が $\pi/2$ となる結合長L(融着延伸部の長さ)に対して、Y偏波の結合係数 $\kappa_Y$ とLの積は以下のようにになる。

【0050】

【数5】

$$\kappa_Y \cdot L = \pi/2$$

【0051】X偏波の結合係数 $\kappa_X$ とLの積は以下のようにになる。

【0052】

【数6】

$$\kappa_X \cdot L = 0.1 \times (\pi/2)$$

【0053】そして、図14(b)に示したように出力側のポートAと同じ光ファイバからなる入力側のポートにX偏波とY偏波とを入力すると、Y偏波はポートBに100%結合する。一方、入力したX偏波のパワーを1としたときのポートBから出力するX偏波のパワーの割合は、以下に示す値となる。

【0054】

【数7】

$$P_B = \sin^2(\kappa_X \cdot L) = \sin^2(\pi/20) \\ = 0.024$$

【0055】したがって、X偏波の98%がポートAから出力し、Y偏波が100%ポートBから出力する。すなわち、まさにPBSとしての特性が得られる。

【0056】

【発明の効果】以上説明したように本発明においては以

下のような効果を得ることができる。短い延伸長で結合度の偏波依存性の大きい偏波保持光ファイバカプラを得ることができる。このため、PBSを作製すると有効である。また、延伸長が短いため、機械的強度の大きい偏波保持光ファイバカプラが得られる。また、X偏波あるいはY偏波が、一方の偏波保持光ファイバから他方の偏波保持光ファイバに結合する回数（移行回数）を少なくすることができるため、低損失である。さらに、広い波長帯域で結合度の偏波依存性の大きい偏波保持光ファイバカプラが得られる。このため、例えば多波長の光を同時に偏波分離、もしくは、偏波合成するような光回路の作製に有用なPBSを提供することができる。また、直径Aが大きい偏波保持光ファイバを用いることにより、過剰損失の小さい偏波保持光ファイバカプラを提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 第1の実施例の偏波保持光ファイバカプラの延伸長と結合度との関係を示したグラフである。

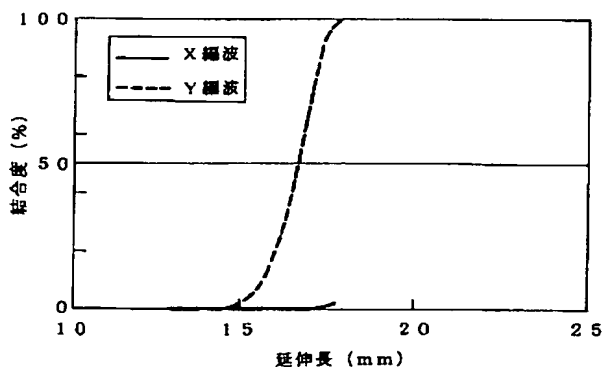
【図2】 第1の実施例の偏波保持光ファイバカプラの波長と結合度との関係を示したグラフである。

【図3】 第2の実施例の偏波保持光ファイバカプラの延伸長と結合度との関係を示したグラフである。

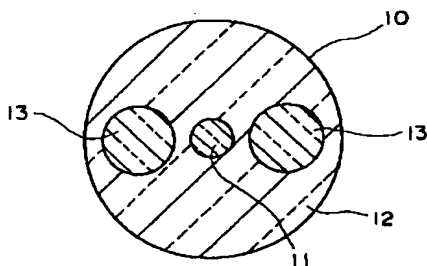
【図4】 第2の実施例の偏波保持光ファイバカプラの波長と結合度との関係を示したグラフである。

【図5】 本発明に適した偏波保持光ファイバの一例を示した断面図である。

【図1】



【図12】



【図6】 第3の実施例の偏波保持光ファイバカプラの延伸長と結合度との関係を示したグラフである。

【図7】 第3の実施例の偏波保持光ファイバカプラの延伸長と過剰損失との関係を示したグラフである。

【図8】 第3の実施例の偏波保持光ファイバカプラの波長と結合度との関係を示したグラフである。

【図9】 通常のPANDA型光ファイバを用いた場合の偏波保持光ファイバカプラの延伸長と過剰損失との関係を示したグラフである。

【図10】 通常のPANDA型光ファイバを用いた場合の偏波保持光ファイバカプラの延伸長と過剰損失との関係を示したグラフである。

【図11】 図11(a)はコア半径で正規化されたふたつのコア間の中心間の距離と正規化された結合係数と、正規化周波数との関係を示したグラフ、図11(b)は、グラフ横軸の値の説明図である。

【図12】 PANDA型光ファイバの一例を示した断面図である。

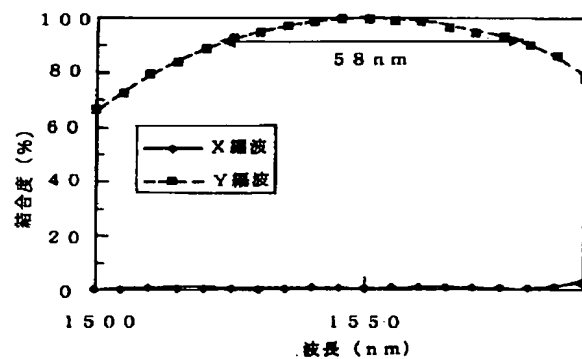
【図13】 偏波保持光ファイバカプラの一例を示した説明図である。

【図14】 図14(a)は、延伸長と結合度との関係を示したグラフ、図14(b)は偏波保持光ファイバカプラの動作を示した説明図である。

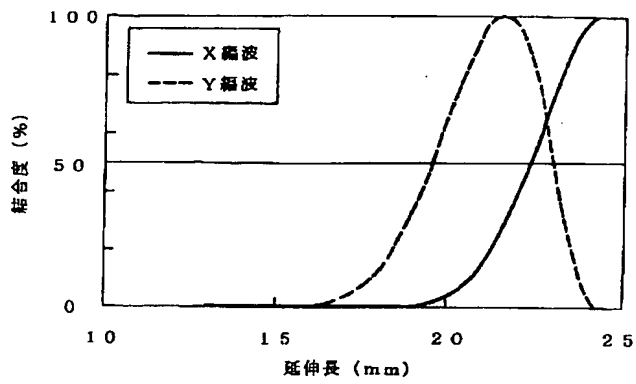
#### 【符号の説明】

3…融着延伸部、10…PANDA型光ファイバ（偏波保持光ファイバ）、14…偏波保持光ファイバカプラ。

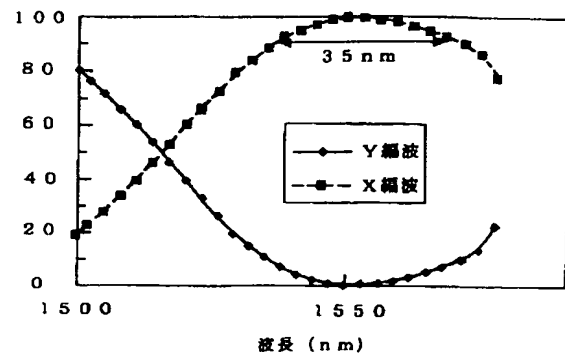
【図2】



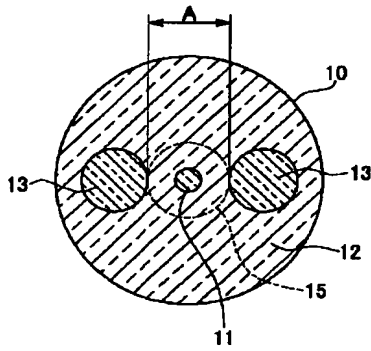
【図3】



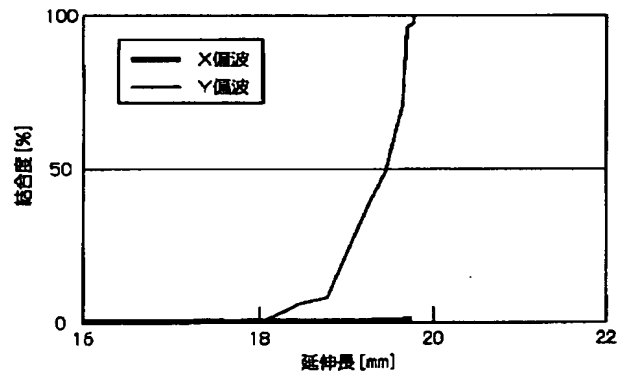
【図4】



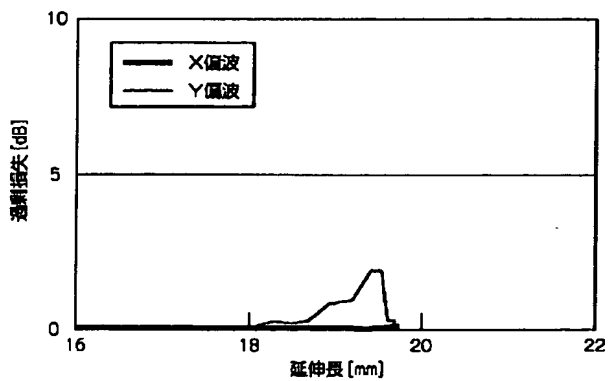
【図5】



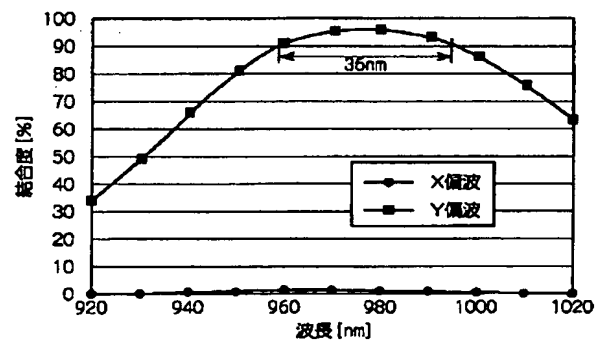
【図6】



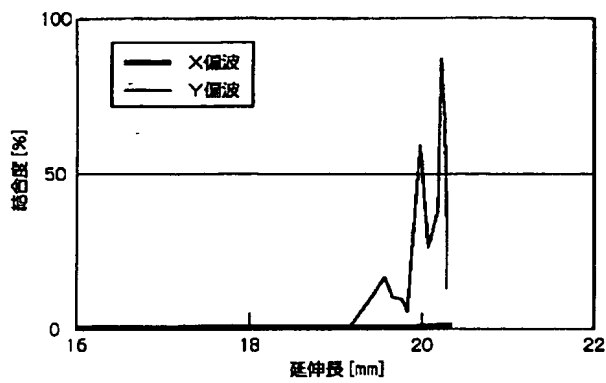
【図7】



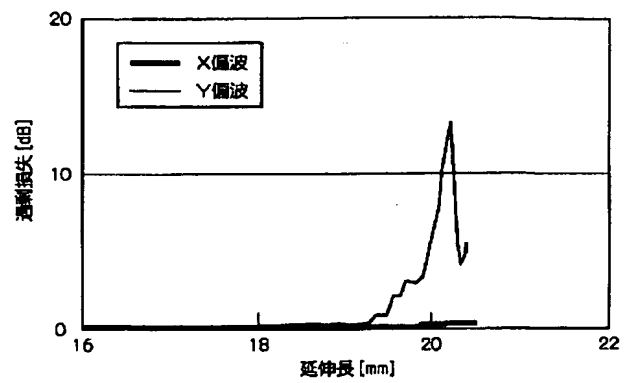
【図8】



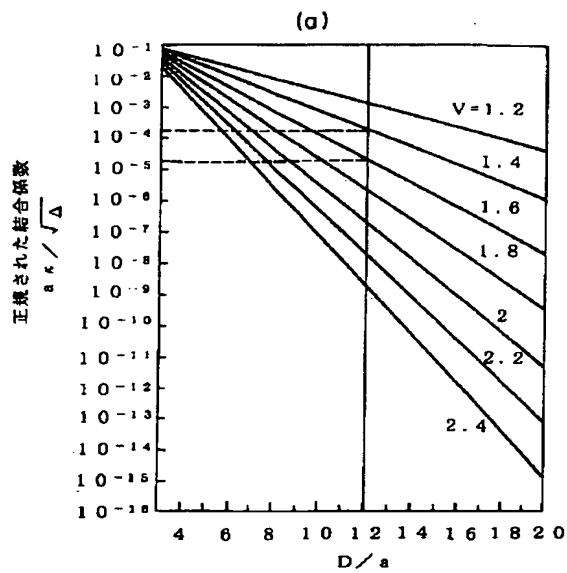
【図9】



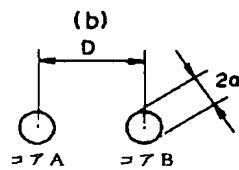
【図10】



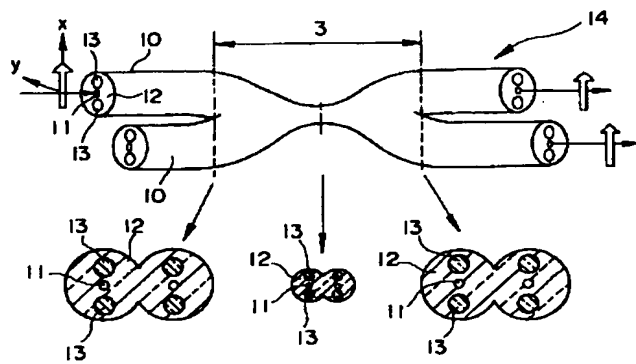
【図11】



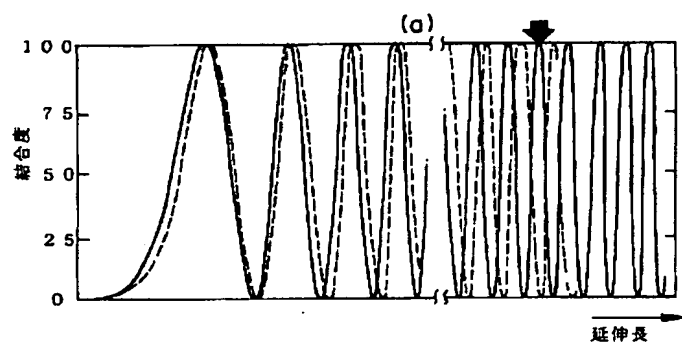
正規化された二つのコアの中心間の最小距離



【図13】



【図14】



## フロントページの続き

(72)発明者 日高 啓▲視▼  
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内  
(72)発明者 西出 研二  
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内  
(72)発明者 山崎 成史  
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

(72)発明者 松本 亮吉  
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内  
(72)発明者 鈴木 洋二  
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内  
F ターム(参考) 2H050 AA02 AB03Z AB05X AC44  
AC83